14　霧箱・簡易放電箱によるα線の観察
－α線の飛跡の観察と飛程の測定－

霧箱を用いて放射性物質から放出されるα線の飛跡を観察する。また，簡易放電箱であるα線検知装置を用いて，α線が引き起こす放電を観察し，α線の飛程を測定する。

【使用実験機器】低温拡散型霧箱，α線検知装置

§１ はじめに

1896年にフランスの物理学者アンリ・ベクレルは，ウラン元素を含む物質が写真フィルムを感光させることに気づいた。これが最初の放射能の発見である。その後，キュリー夫人をはじめ多くの科学者達の研究によって,ウラン以外にも放射能を示す物質が次々と発見され,放射能についてさらに詳細な研究が続けられた。その結果，放射線は気体を電離し，イオン化する作用をもっていることが判明した。

放射線発見当時においては，専ら放射線が気体をどれだけ電離するかに放射線測定の主眼があった。電界内の気体に放射線を照射させ，イオン化した気体が電流として検出され，放射線の強さを測定したわけである。研究が進むと，自然の放射性物質からは，いくつかの放射線が放出されていることがわかり，それらの放射線にニュージーランド生まれの物理学者ラザフォードはα線，β線，γ線と名付けた。実験技術が進歩し，それらの放射線の一つ一つを分けて取り出すことができるようになった。ラザフォードは，こうして取り出したα線を原子にぶつける実験を思いつき，原子核の発見へと進んだ。この段階になると，放射線のエネルギーや運動量を求める必要が生じ，種々の実験方法や実験装置が開発された。それらの装置の中に，放射線の飛程を求める装置があり，その一つに放電箱がある。放電箱で計測された放射線の飛程を用いて，放射線のエネルギーが求められた。

開発された多くの実験装置はいずれも，放射線の電離作用をもとにして測定されるようになっているが，放射線の運動を直接見ていたわけではない。実験装置に飛び込んでくる放射線を視覚的に直接捉えることに初めて成功したのは，イギリスの物理学者C.T.Rウィルソンである。放射線が通過した後に，霧の列ができるように工夫されたものであった。この装置は製作者にちなんでウィルソン霧箱と呼ばれた。

ここでは，低温拡散型霧箱を用いて，α線の飛跡を観察し，飛跡の特徴を見つけ出す（実験Ⅰ）。また，簡易放電箱であるα線検知装置を用いて，α線の飛程を測定し，あわせてα線のエネルギーを推定する（実験Ⅱ）。

§２ 実験Ⅰ：霧箱によるα線の観察

１ 解説

(1)原理

イギリスの物理学者C.T.Rウィルソンは休暇を山荘で過ごしたとき，山のもやの中で見た日の出から霧箱のアイデアを思いついたといわれている。その測定原理は，過飽和状態の気

体中を荷電粒子が通過するとき，気体をイオン化し，イオン化された気体の列を残す。イオン化された気体が凝縮核となり，霧滴がその回りにでき，粒子の経路に霧の列が現れる。

実験で用いる低温拡散型霧箱では，親水性の強いエチルアルコールを使用でき，より飛跡が見やすくなっている。まず，観察槽の中にエチルアルコールを入れ，装置内のヒーターで暖めて蒸発させる。観察槽の底部を冷水に浸して，観察槽下部を低温に保っている。冷水を容器底部に循環させることで底部の温度上昇を防ぐ。すると，観察槽の中には上下方向に強い温度勾配ができる。上下面での温度勾配はほぼ直線的と見なしてよいが，温度とそれに対応する飽和蒸気圧とは比例していないので，中間部分は過飽和の状態となる。この領域を放射線が通過すると，エチルアルコールをイオン化し，それを凝結核として霧が発生し，飛跡を示す霧の列が観察されることになる。

(2)器具の説明

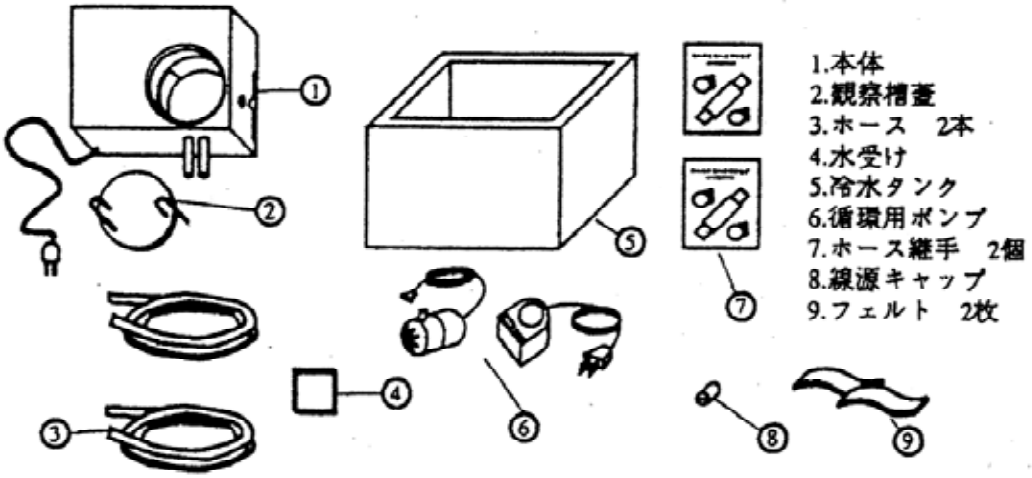

図１　低温拡散型霧箱（外観図）

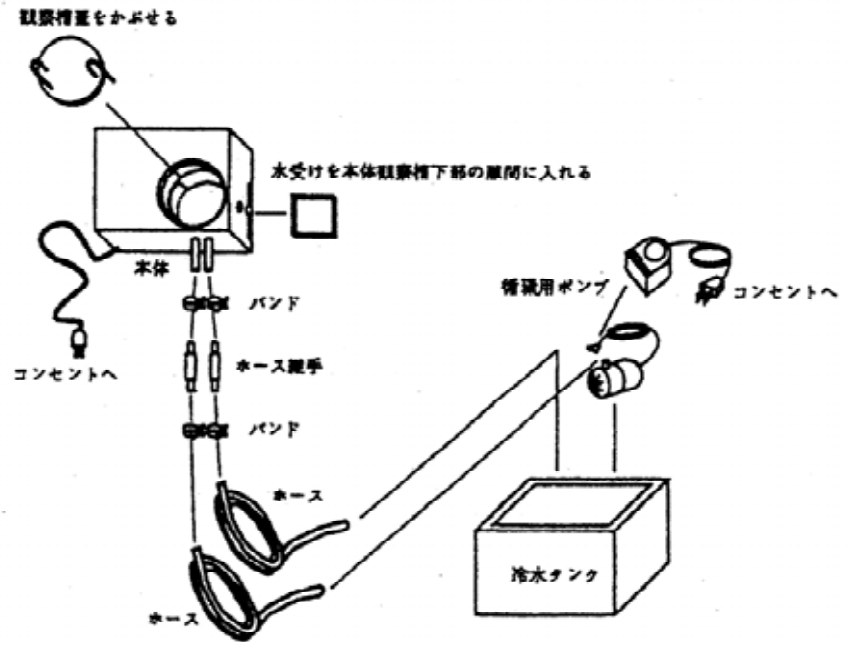

図２　実験器具の接続方法

2　実験

(1) 実験装置及び器具

・低温拡散型霧箱，エチルアルコール，ビーカー，スポイト，氷

・放射線源

(2) 実験の方法

① 図２のように，本体・ホース・電源を接続する。

② 図３のように，フェルトを雑イオン除去電極と観察槽との間に挟む。

③ スポイトでエチルアルコールをフェルト上部から５㎖ ほどしみ込ませる。また，観察槽底部にも１㎖ ほど入れる。

④ シリコン栓の先端についた放射線源にキャップをする。

⑤ キャップをした放射線源を観察槽横の放射線源用の穴から放射線源を入れ，穴をしっかり塞ぐ。その際，キャップについているスリットが観察槽底面に平行になるようにすること。（図４参照）

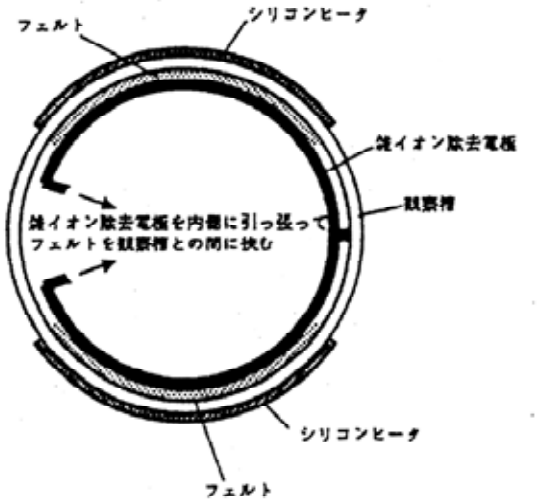

図３　フェルトのセット

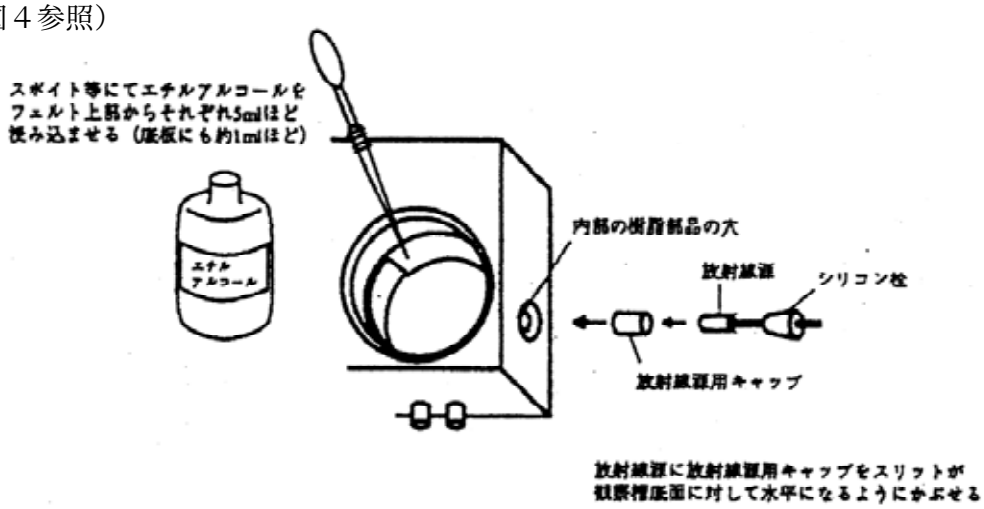

図４　エチルアルコールと放射線源のセット

⑤ 観察槽の上部に透明板の蓋をする。

⑥ 冷水タンクに 20℃ 以下の水を約５ *l* 入れる。できれば，水３ *l* に対し氷１kgを入れた方がより鮮明に飛跡を観察することができる。

⑦ 循環用ポンプのスイッチを入れ，その後本体の電源を入れる。

⑧ 観察槽の温度分布が安定し，飛跡が観察できるようになるまでに，３～５分かかる。

＊電源投入直後は，観察槽の温度分布が安定しないため，霧が流れをつくっている。

⑨ 温度分布が安定してくると，霧が均一に降り出し，放射線による飛跡が観察できる。

【注意】

・放射線源として用いるものは微弱線源であり，法規制以下のものであるが，できる限り放射線の被爆を少なくするように実験を行うこと。実験中はなるべく手袋を着用し皮膚などが線源に直接触れないようにすること。実験後，放射線源は安全な場所に保管し，放置して周りの人に不必要な被爆を受けさせないようにすること。また，実験中は放射性物質を放置したり，破損したりしないように十分注意すること。

・観察槽蓋が曇りだしたら，蓋をはずし乾いた布などで軽く拭くとよい。

・線源は乾いた状態で使用すること。時間がたつとアルコール蒸気で線源が濡れてしまう。そうなると，α線が液体に吸収され，飛跡を観察できなくなる。線源を破損しないよう拭くとよい。

３ 実験結果と分析

(1) 実験結果

・実験例

α線源　^{241}Ａｍ（半減期　433年，α崩壊　α線のエネルギー5.4MeV，γ線のエネルギーは非常に低くわずかであり，すぐれたα線源である。）

・観察からわかったこと

①飛跡はあらゆる方向に現れ，直線状に生じる。

②飛跡は太く短い。

③飛跡はほぼ３～４ｃｍぐらいの長さで一定である。

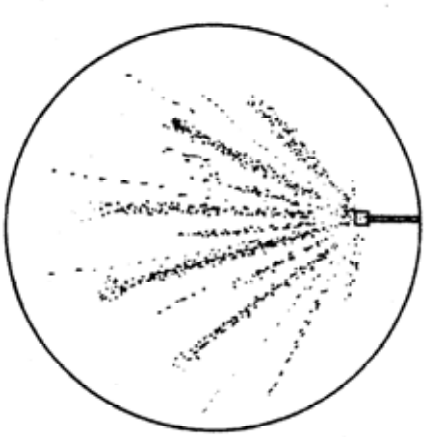

図５　飛跡の観察例

(2) 分析

・放射性物質から飛び出してくるα線のエネルギーは，４～６ＭｅＶ程度のものが大部分であり，またα線は物質に固有の一定のエネルギーをもって飛び出している。飛跡がほぼそろった長さになり，槽内で飛跡の先端が途絶えるのはそのためである。

・α線は，電離作用が強く，また運動量も大きいので，槽内で衝突してもまっすぐに直進し，衝突した分子を次々にイオン化していく。そのため，槽内の霧はほぼ直線状に生じることになる。β線も飛び出しているが，電離作用がα線より弱く，飛跡が細くなり，観察しにくい。

＜考察＞

①放射線源をアルミ箔で包んで実験すると，α線が箔で吸収され，太い飛跡は観察できな

くなる。しかし，β線は透過力が強く吸収されず，箔を通過するので，β線による細い飛跡が観察できる。β線はいろいろなエネルギーをもって飛び出しているので，それに応じて，飛跡の長さはばらばらである。ちなみに，α線は，１気圧の空気中では 数cm しか飛ばないのに対して，β線は最大8.4mも飛ぶことができる。β線は細く長い飛跡を残す。

②花崗岩は，放射性物質を含んでいることが多い。これは花崗岩中のカリウム（^{40}K）に起因する。観察槽にこの花崗岩を入れて観察してみると，放射線の放出が確認できる。

③α崩壊において，α線のエネルギーが一定値をとることは，エネルギーの関係と運動量保存則から確かめることができる。

§３ 実験Ⅱ：α線検知装置によるα線の飛程の測定

１ 解説

(1)原理

α線検知装置は簡易型の放電箱で，金属板の代わりに，金属線を平面格子状に張って，陽極にしてあり，空気中での放電現象を観測するようになっている。荷電粒子が格子状の陽極を通過するとき，イオンが生成され真ちゅう板（陰極）との間の電界内で局所的な放電が起こり，青白い火花として観察される。高圧電源の内部抵抗を高くしておくと，自続放電を起こさずに高速荷電粒子が通過するたびに放電を繰り返すことになる。

装置の電極と放射性物質の距離をα線の飛程より離してしまうと，α線は電極まで達することができなくなり放電が見られなくなる。そこで，放電を起こす距離に近づけた後，両者の距離を徐々に離していき，放電が見られなくなるところを探す。放電が見られなくなったときの電極と放射性物質との距離を，空気中におけるα線の飛程と見なすことができる。

また，α線の空気中での飛程とエネルギーの関係は実測されていて，図６のようになる[3]。この図を用いて，α線の飛程から，α線のエネルギーをおおよそ推定することができる。

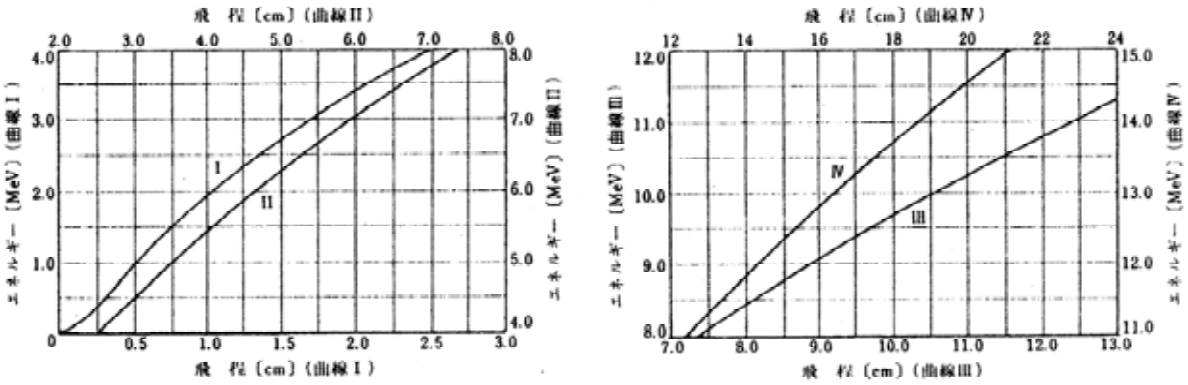

図６　空気中におけるα線の飛程とエネルギーの関係[3]

2　実験

(1) 実験装置及び器具

・α線検知装置

・放射線源

(2) 実験装置の構造

図７は放電箱の構造図である。絶縁性の良いアクリル板の枠に，直径100μmのタングステン線を６mmの等間隔で平面格子状に張り陽極とする。その下２mmの位置に真ちゅう板を置き，これを陰極とし，この間に約３ｋＶ～４ｋＶの直流高電圧を印加する。α線は，格子状の陽極を通過して電極間に入り放電を起こす。

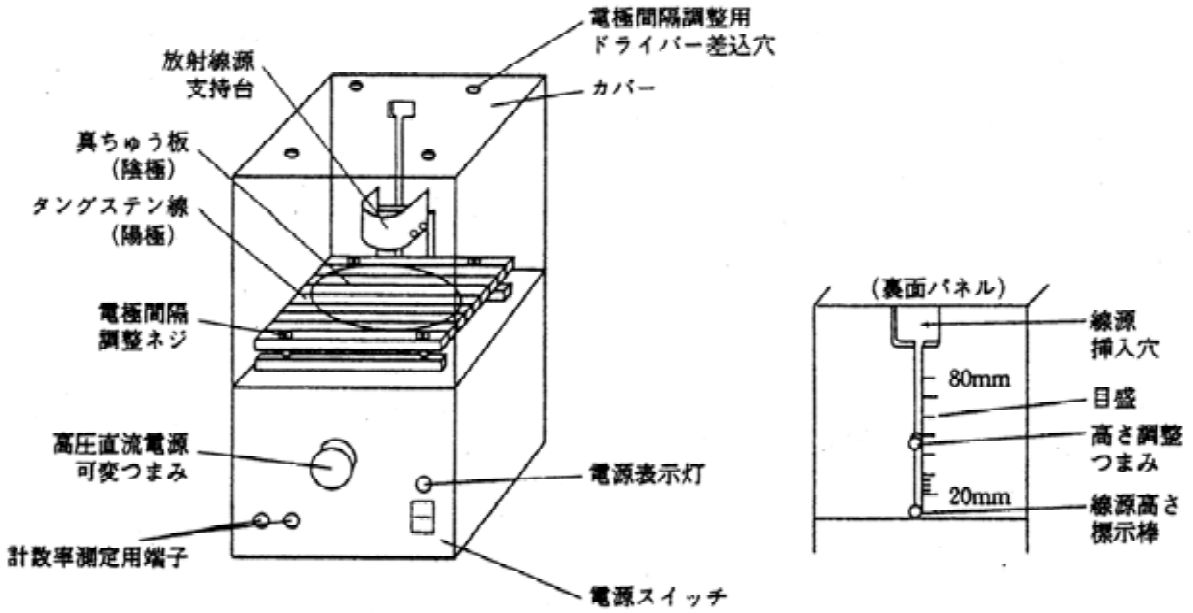

図７　α線検知装置

(3) 実験の方法

① 裏面パネルの線源挿入穴より，柄のついた実験用密封線源を入れ，放射線源支持台に置く。

② 前面パネルの高圧直流電源可変つまみを左にいっぱい回し切っておく。

③ 電源を入れ，電圧をゆっくりと上げる。

④ 印加電圧が　３ｋＶ～４ｋＶの間になると，パチパチと放電が起こる。さらに電圧を上げると，コロナ放電が起きタングステン線が振動を起こし始める。最適な印加電圧はコロナ放電が起きる直前の電圧である。

⑤ 線源支持台の高さ調整つまみをゆるめ，線源と電極の距離を徐々に大きくし，放電の様子を観察する。

⑥ 放電を全く起こらなくなるとき，電極と線源の間の距離をα線の飛程とする。

⑦ 装置裏面のスケールを用いて，線源と電極の距離を読みとる。

【注意】

・両極間の平行度も実験には重要な要素となる。局所的にコロナ放電が低い印加電圧（2.5kV～3kV 程度）で起こるときは，絶縁の良い柄のついた長いドライバーで，電極間隔調節ネジを回すことによって修正すること。感電には十分注意すること。

・使用中の振動によってタングステン線が緩んできて，より低い電圧でコロナ放電を起こすようになる。その結果α線の検出がうまく行われなくなったときは，タングステン線を張り直す必要がある。

3 実験結果と分析

・実験例

α線源　^{241}Am（半減期　433年，α崩壊　α線のエネルギー5.4MeV，γ線のエネルギーは非常に低くわずかであり，すぐれたα線源である。）

線源と電極の間隔を小さくすると，電極間の至るところでバチバチと放電を起こす様子が観察できる。間隔を徐々に広げていくと，放電の回数が減少し，やがて放電が全く見られなくなる。そのとき，線源（^{241}Am）と電極との距離は，33㎜であった。図５のグラフを利用して，この飛程の測定値から，α線のエネルギーを推定すると，4.8MeVとなる。線源と電極間の距離測定や放電が全く起こらなくなる点の求め方などに，大きな誤差が生じる要因がある。

【参考】

1 霧箱の種類

過飽和状態を作り出すのに，気体の断熱膨張を利用する方法と温度勾配を利用する方法が用いられている。断熱膨張を利用した霧箱を膨張型霧箱といい，ウィルソンが当初考え出したものである。この膨張霧箱は，荷電粒子の通過に同調して膨張しなければならず，観測に欠点をもっている。この欠点を解消したのが，温度勾配を利用した拡散型霧箱である。

さらに，拡散型霧箱は，観察槽上部をヒーターで加熱する高温型と槽の下部を冷却器で冷やす低温型がある。低温型ではエチルアルコールを用いることができ，より鮮明な飛跡を観察することができる。

2 放電箱

本来の放電箱は，箱の中に多数の平行金属板を数ミリないし数センチおきに並べ，希ガスを封じたものである。荷電粒子の通過直後に，金属板間に高電圧のパルスをかける。荷電粒子が金属板の列を横切るとき，イオンが生成され局所的な放電が起き，これがスパークとして観測される。この放電を写真に記録して荷電粒子の通過位置を測定するようになっている。

【参考文献】

[1]「低温拡散型霧箱」取扱説明書（島津理化器械（株））
[2]「α線検知装置」取扱説明書（島津理化器械（株））
[3] 飯田博美・安齋育郎共編「放射線のやさしい知識」(1984，オーム社)
[4] 物理学辞典（1984，培風館）